

# 我国典型建筑保温材料生产生命周期评价研究

马丽萍<sup>1,3,4</sup> 蒋荃<sup>1,2,3,4</sup> 赵平<sup>4</sup> 赵春芝<sup>1,3,4</sup>

(1.中国建材检验认证集团股份有限公司,北京 100024 2.武汉理工大学 材料科学与工程学院,湖北 武汉 430070;

3.国家绿色建材重点实验室,北京 100024 4.中国建筑材料科学研究总院,北京 100024)

**摘要** 运用生命周期评价方法,对我国3类典型建筑保温材料(聚苯板、岩棉板、硬泡聚氨酯板)功能单位(以单位质量 kg 计)生产生命周期过程中产生的资源、能源消耗和污染气体排放进行调研与分析,并计算获得3类保温材料生产生命周期不可再生资源消耗、能源消耗和温室效应影响。同时,为更好地比较不同保温材料之间的生命周期环境友好性差异,结合保温材料在不同区域的使用特性,将功能单位进一步扩展为“满足相同节能要求的单位面积(以 m<sup>2</sup> 计)产品生产”,并进行计算分析。结果显示,以“单位质量 kg”计,岩棉板生产生命周期环境影响最小,硬泡聚氨酯板次之,聚苯板最大,而以“满足相同节能要求的单位面积 m<sup>2</sup>”计,则聚苯板生产生命周期的环境影响最小,岩棉板最大。

**关键词** 聚苯板 岩棉板 硬泡聚氨酯板 生命周期评价 LCA

中图分类号 TU55+1

文献标识码 A

文章编号 1001-702X(2013)10-0041-04

## Life cycle assessment of typical building thermal insulation materials in China

MA Liping<sup>1,3,4</sup> JIANG Quan<sup>1,2,3,4</sup> ZHAO Ping<sup>4</sup> ZHAO Chunzhi<sup>1,3,4</sup>

(1.China Building Material Test & Certification Group Co. Ltd., Beijing 100024, China;

2.College of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China;

3.National Key Lab for Green Building Materials, Beijing 100024, China 4.China Building Material Academy, Beijing 100024, China)

**Abstract** Based on the method of life cycle assessment, resource consumption, energy consumption and exhaust emission generated in the life cycle of three typical building thermal insulation materials (polystyrene board, rock wool board and polyurethane foam board) functional unit (defined as specific mass kg) production in China were deeply surveyed and analyzed. And the depletion of non-renewable resource and energy and greenhouse effect of functional unit for the three products were calculated and analyzed. Besides, the functional unit was further expanded to building thermal insulation materials production per m<sup>2</sup> meeting the same energy-saving requirement in order to directly compare difference of environmental friendliness among the three building thermal insulation materials, the corresponding life cycle environmental impact was also calculated and analyzed. The result showed that life cycle environmental impact from the rock wool board production was the least in per mass as functional unit, and life cycle environmental impact from the polystyrene board was the largest. However, when the functional unit was defined as building thermal insulation materials production per m<sup>2</sup> meeting the same energy-saving requirement, life cycle environmental impact from the polystyrene board was the least, and the rock wool board was the largest.

**Key words** polystyrene board, rock wool board, rigid foam, polyurethane board, life cycle assessment, LCA

## 0 引言

随着建筑节能政策的深入实施和绿色建筑行动的全面展开,绿色建材评估与认定成为亟待解决的关键技术之一。保

温材料作为直接关乎建筑节能的重要建筑材料,对其开展绿色度评估与认定研究具有紧迫的现实意义。此外,为切实配合绿色建筑行动,工信部还将建筑外墙外保温材料列为绿色建材产品标准化工作的重要实施对象。

生命周期评价(Life Cycle Assessment,以下简称 LCA)<sup>[1-2]</sup>方法是系统化定量描述产品生命周期中各种资源、能源消耗和环境排放并评价其环境影响的方法。它作为一种重要的环境管理工具被纳入 ISO 14000 环境管理系列标准中,并成为 ISO 14000 系列标准中其它各类环境管理工具的方法基础,现

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAJ04B06)

收稿日期:2013-06-26

作者简介:马丽萍,女,1982年生,山西孝义人,硕士。

已广泛应用于产品的绿色度评价、生态设计<sup>[3]</sup>、清洁生产技术评价与研发、环境标志与声明<sup>[4]</sup>、环境政策制定等诸多领域。此外,在当前国内外绿色建筑评价中,也越来越地将建筑材料 LCA 分析纳入考量范畴<sup>[5-7]</sup>。因此,开展保温材料生命周期评价研究对于绿色度评价乃至绿色建筑评价非常必要。

对于保温材料的生命周期评价研究,目前国内鲜有报道。本研究基于 LCA 方法,选取我国当前建筑工程中应用最为广泛的 3 类保温材料(即聚苯板、聚氨酯板和岩棉板)作为研究对象,并结合各保温材料在不同区域的应用特点,对其开展生命周期评价研究,旨在阐明我国保温材料行业生命周期环境负荷的基本情况,以期为本地区保温材料 LCA 数据库的建立及绿色建材评价提供数据支持。

## 1 研究方法

### 1.1 生命周期模型确定

依据 ISO 14040 系列标准, LCA 的技术框架由以下 4 个部分组成:(1)目标与范围的定义。具体包括确定 LCA 实施目标、产品系统边界及功能单位等。(2)清单分析。根据目标与范围定义,确定产品生命周期各个阶段每一个单元流程中材料与能源的消耗、废弃物排放等数据,并进行整理与编目。(3)影响评价。将清单数据进行定量化评价。(4)结果解释。提供 LCA 研究结果并得出结论、解释不足并提出建议。

产品的生命周期概括而言应包括 3 部分:①上游过程,包括资源、能源、原材料开采与生产,产品包装材料生产及其中涉及的运输;②产品生产过程,包括产品制造及对该阶段排放污染物的处理过程等;③下游过程,包括产品销售、使用、废弃回收过程。对于非终端消费品,其生命周期评价模型一般只包含上游过程和产品生产过程,即从“摇篮”到“大门”。因此,保温材料作为建筑物的上游产品,本研究以“从摇篮到大门”为基本模型,进行产品生产生命周期评价。

### 1.2 功能单位确定

本研究基于不同的目标确定了如下 2 类功能单位:

(1)基于保温材料生产现场数据统计及市场交易的一般规则,选取“单位质量(以 kg 计)保温板生产”作为本研究的功能单位之一。

(2)为比较不同保温材料生命周期环境友好性的差异,本研究在对“单位质量保温板生产”生命周期评价研究的基础上,将功能单位拓展为“满足相同节能要求的单位面积(以  $m^2$  计)保温板生产”。

### 1.3 影响评价指标确定

综合考虑目前 LCA 评价指标模型研究及适用范围的局

限性、国内外政策关注重点、保温材料的生产特性及与绿色建筑评价的直接相关性等因素,本研究重点关注不可再生资源消耗(ADP)、不可再生能源消耗(PED)和温室效应影响(GWP)。

## 2 单位质量保温板生产生命周期评价

### 2.1 目标定义

选取聚苯板、岩棉板和硬泡聚氨酯板作为研究对象,以单位质量产品生产作为功能单位,对 3 类保温材料开展生命周期评价,以期为我国保温材料行业本地化 LCA 数据库的建立及绿色建筑评价提供数据支撑。

### 2.2 系统边界确定

本研究采用“从摇篮到门”的生命周期评价模型,其系统边界范围包括:(1)保温板的生产制造过程(各产品生产工艺流程分别见图 1、图 2 和图 3);(2)原材料生产所涉及的生命周期阶段;(3)电力、能源的生产;(4)原材料运输过程。

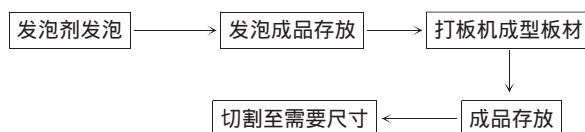


图1 聚苯板生产工艺流程

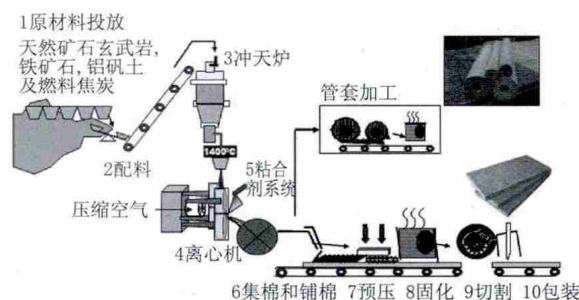


图2 岩棉板生产工艺流程

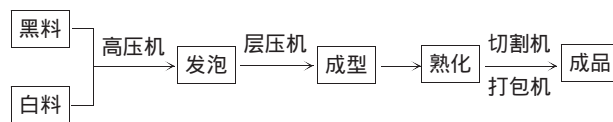


图3 硬泡聚氨酯板生产工艺流程

### 2.3 单位质量保温板生产 LCA 评价

#### 2.3.1 数据收集

以单位质量(kg)产品生产计,研究中确定各类保温材料的数据收集清单见表 1。

研究中 3 类保温材料生产阶段的单位产品原材料消耗、能源消耗及其运输数据主要来源于对国内典型企业的调研结果。其中对于聚苯板和硬泡聚氨酯板,考虑到其生产所用分散剂、引发剂、阻燃剂等各类添加剂掺量很少,故在数据收集

表 1 各类保温材料数据收集清单

项 目	聚苯板生产	岩棉板生产	硬泡聚氨酯板生产
产品	苯乙烯、发泡剂戊烷、添加剂(如分散剂、阻燃剂、引发剂等)的使用量	玄武岩、白云石、矿渣、酚醛树脂的使用量	异氰酸酯、聚醚多元醇、发泡剂环戊烷、添加剂(如阻燃剂、催化剂等)的使用量
生产	煤炭、燃油、电力的使用量	柴油、焦炭、电力的使用量	柴油和电力的使用量
过程	生产中的运输过程	各类原材料及能源运输距离	
	生产过程温室气体排放	CO <sub>2</sub> 排放量	
上游过程	苯乙烯、发泡剂戊烷、添加剂(如分散剂、阻燃剂、引发剂等)、煤炭、燃油和电力的生产 ;公路交通运输	玄武岩和白云石开采 ;酚醛树脂、柴油、焦炭和电力的生产 ;公路交通运输	异氰酸酯、聚醚多元醇、发泡剂环戊烷、添加剂(如阻燃剂、催化剂等)、柴油和电力的生产

予以忽略。各保温材料生产阶段由于能源燃烧而产生的 CO<sub>2</sub> 直接排放数据基于 IPCC 国家温室气体清单指南<sup>[8]</sup>并通过理论计算获得。

研究中涉及的上游过程数据来源于国际国内公开数据库<sup>[9-11]</sup>。鉴于国内有关基础数据库的缺乏,对苯乙烯、发泡剂等采用欧洲数据库予以代替,见表 2。

表 2 本研究确定的上游过程数据来源

生产过程	数据库
电力、燃油、煤炭生产 ;公路运输	四川大学 CLCD 数据库
苯乙烯、发泡剂、酚醛树脂、异氰酸酯、聚醚多元醇生产	ELCD2 & Ecoinvent

2.3.2 结果评价

运用 LCA 方法,对 3 类保温材料单位质量(kg)产品生产生命周期不可再生资源消耗(ADP)、不可再生能源消耗(PED)和温室效应(GWP)影响进行清单分析及特征化计算,结果见图 4。

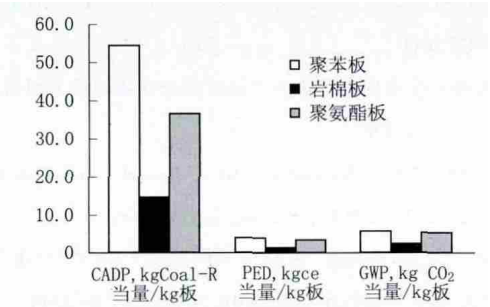


图 4 3 类保温材料单位质量产品生产 LCA 特征化结果比较

图 4 结果显示,以单位质量计,岩棉板的不可再生资源消耗、能源消耗和温室效应影响在 3 类产品中均为最小,其次为聚氨酯板,聚苯板生产所产生的环境影响最大,即 3 类保温板生产生命周期环境影响重要性排序为:岩棉板<聚氨酯板<聚苯板。

将岩棉板的计算结果视为 1,另 2 类产品分别与其进行

对比,结果见图 5。

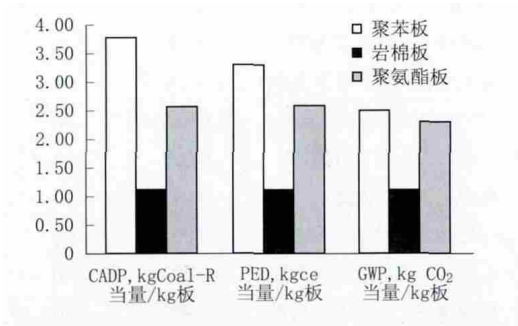


图 5 以岩棉板计算结果与另 2 类产品的对比

图 5 的对比结果表明,单位质量聚苯板生产生命周期不可再生资源消耗影响为岩棉板的 3.69 倍,聚氨酯板为岩棉板的 2.48 倍。单位质量聚苯板生产生命周期不可再生能源消耗影响为岩棉板的 3.22 倍,聚氨酯板为岩棉板的 2.49 倍。单位质量聚苯板生产生命周期温室效应影响为岩棉板的 2.38 倍,聚氨酯板为岩棉板的 2.20 倍。

3 满足相同节能要求的单位面积保温板生产生命周期评价

节能是保温材料用于建筑物的最重要属性。比较不同保温材料之间的环境友好性差异,应基于相同的节能效果。鉴于此,本研究在对单位质量保温板生产生命周期评价研究的基础上,将功能单位进一步拓展为“满足相同节能要求的单位面积(m<sup>2</sup>)保温板生产”,同时考虑不同保温材料在不同区域的使用特性,选取严寒、寒冷、夏热冬冷 3 个区域进行分区域研究。

3.1 满足相同节能要求的各保温板厚度确立

为获得各区域满足相同节能要求的单位面积(m<sup>2</sup>)保温板生产生命周期环境影响,首先应确定各区域满足相同节能要求时各类保温板的厚度。为此,需要预先设定一些基本参数。

3.1.1 预设参数确定

(1)结构墙体预设为“170 mm 钢筋混凝土墙”。



(2)依据 JGJ 26—2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》和 JGJ 134—2010《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》取严寒、寒冷、夏热冬冷地区的外墙传热系数分别为 0.4、0.5、1.0 W/(m<sup>2</sup>·K)。

(3)严寒、寒冷、夏热冬冷地区分别选择黑龙江省、北京市和上海市为代表,并基于现行 65%节能设计标准确定各类保温板的导热系数及修正系数。

3.1.2 保温板厚度确定

基于上述预设参数计算 3 类保温板厚度,见表 3。

表 3 满足同等节能要求时各保温板厚度

项 目	区 域	导热系数 /[W/(m·K)]	修正 系数	厚度 /mm
钢筋 混凝土	严寒(以黑龙江省为例)	1.74		170
	寒冷(以北京市为例)	1.74		
	夏热冬冷(以上海市为例)	1.74		
EPS 板	严寒(以黑龙江省为例)	0.042	1.20	120
	寒冷(以北京市为例)	0.039	1.05	80
	夏热冬冷(以上海市为例)	0.042	1.10	40
硬泡聚 氨酯板	严寒(以黑龙江省为例)	0.033	1.05	85
	寒冷(以北京市为例)	0.024	1.10	50
	夏热冬冷(以上海市为例)	0.027	1.10	30
岩棉板	严寒(以黑龙江省为例)	0.045	1.20	130
	寒冷(以北京市为例)	0.040	1.10	85
	夏热冬冷(以上海市为例)	0.040	1.20	45

3.2 满足相同节能要求的单位面积保温板生产 LCA 评价

设岩棉板、聚氨酯板和聚苯板的密度分别为 150 kg/m<sup>3</sup>、50 kg/m<sup>3</sup>、20 kg/m<sup>3</sup>,基于单位质量保温板生产 LCA 计算结果,及满足各区域设定节能要求的保温板厚度,计算获得各区域单位面积满足相同要求的各保温板生产生命周期不可再生资源消耗、不可再生能源消耗和温室效应影响,结果见图 6。

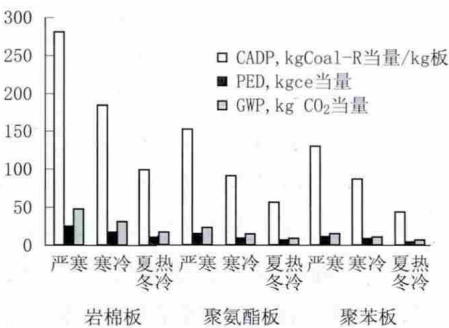


图 6 单位面积的各保温板生产生命周期满足相同节能要求的环境影响

图 6 显示,无论在何种区域下,以满足 65%节能要求的单位面积计,聚苯板的不可再生资源消耗、能源消耗和温室

效应影响在 3 类保温材料中均为最小,其次为聚氨酯板,岩棉板影响最大。即单位面积满足同等节能要求的 3 类保温板生产生命周期环境影响重要性排序为:聚苯板<聚氨酯板<岩棉板。这与单位质量保温板的计算结果截然相反,原因在于不同产品具有不同的密度和导热系数。聚苯板具有较小的密度和导热系数,而岩棉板具有最大的密度和最高的导热系数。

4 结 论

(1)以单位质量(kg)计,3 类保温材料生产生命周期环境影响重要性大小排序为:岩棉板最小,聚氨酯板次之,聚苯板最大。

(2)以满足相同节能要求的单位面积(m<sup>2</sup>)计,3 类保温材料生产生命周期环境影响重要性大小排序为:聚苯板最小,聚氨酯板次之,岩棉板最大。

(3)造成上述不同结论是由于各类保温材料的密度和导热系数不尽相同。聚苯板具有较小的密度和较低的导热系数,而岩棉板具有最大的密度和较高的导热系数。

参考文献:

[1] GB/T 24040—2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架[S].  
[2] GB/T 24044—2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南[S].  
[3] GB/T 24062—2009 环境管理 将环境因素引入产品的设计和开发[S].  
[4] GB/T 24025—2009 环境标志和声明 型环境声明 原则和程序[S].  
[5] 魏小清.基于生命周期理论的大型公共建筑能耗分析与评价[D].长沙:湖南大学,2010.  
[6] 燕艳.浙江省建筑全生命周期能耗和 CO<sub>2</sub> 排放评价研究[D].杭州:浙江大学,2011.  
[7] 谷立静.基于生命周期评价的中国建筑行业环境影响研究[D].北京:清华大学,2009.  
[8] IPCC.2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M].IPCC/IGES Hayama Japan 2006.  
[9] 刘夏璐,王洪涛,陈建何,等.国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型[J].环境科学学报,2010,30(10):2136-2144.  
[10] Wang H T,Ciroth A.Development of unit process datasets[C]//UNEP/SETAC.Global guidance principles for life cycle assessment databases.Paris:UNEP,2011.  
[11] Wang H T,Hou P.A Novel Weighting Method in LCIA and its Application in Chinese Policy Context [C]//Matthias Finkbeiner.Towards Life Cycle Sustainability Management, Berlin:Springer,2011:65-72.

